心理学报 2022, Vol. 54, No. 12, 1491−1502
*Acta Psychologica Sinica*

https://doi.org/10.3724/SP.J.1041.2022.01491

# 认知负荷与编码方式影响小学数学学业不良生的前瞻记忆及其成分*

陈幼贞[1] 张曼曼[1] 林秋蓉[2]

([1]福建师范大学心理学院, 福州 350117) ([2]福建省龙岩市连城县实验小学, 龙岩 364000)

**摘 要** 通过两个实验探讨认知负荷对小学数学学业不良生前瞻记忆及其成分的影响, 以及是否可以通过执行意向编码提高其前瞻记忆及其成分的成绩。实验 1 结果显示数学学业不良生前瞻记忆、前瞻成分及回溯成分正确率显著低于数学学优生, 高认知负荷条件前瞻记忆、前瞻成分及回溯成分的正确率显著低于低认知负荷条件; 实验 2 结果显示执行意向编码条件下, 数学学业不良生前瞻记忆成绩显著好于标准编码条件, 前瞻成分和回溯成分的正确率高于标准编码条件。结果表明数学学业不良生前瞻记忆及其成分表现差于数学学优生; 无论认知负荷高低, 执行意向编码均可通过提升前瞻成分和回溯成分改善数学学业不良生前瞻记忆表现。

**关键词** 前瞻记忆, 前瞻成分, 回溯成分, 数学学业不良生, 认知负荷, 编码方式

**分类号** B842



## 1 引言

学业不良生是指个体的智力正常, 但其实际学习成绩和其智力潜能所能达到的学习成绩之间存在差异(董云英 等, 2008; 张红霞 等, 2016), 数学学业不良生是学业不良生的一个重要亚型(陈立, 赵微, 2013)。元分析的结果表明数学学业不良生在执行功能、工作记忆、短时记忆、加工速度等方面存在缺陷(Johnson et al., 2010; Peng et al., 2018)。而执行功能是前瞻记忆成功执行的先决条件(Mahy et al., 2014)。同时, Swanson (1994)发现工作记忆可以预测数学学业不良, 并主张根据工作记忆任务如何被遗忘分为两类, 一种与回溯记忆失败有关, 一种和前瞻记忆错误有关。问卷调查(陈星洁 等, 2014, 9 月)与实验研究(Chen et al., 2016; Chen, Xu, et al., 2018; Ji et al., 2021)也表明, 前瞻记忆和数学学业不良存在密切的关系, 数学学业不良生存在明显的前瞻记忆问题。改善数学学业不良生的前瞻记忆有利于减少其因前瞻记忆失败导致的学业失败, 从而在一定程度上促进其学业表现。前瞻记忆(prospective memory, PM)是一种关于未完成意向的记忆, 指在将来合适的时间或情境下执行提前规划好的事件或活动的记忆(Einstein & Mcdaniel, 1990; 郭云飞 等, 2016)。前瞻记忆的执行过程中涉及两种成分: 前瞻成分和回溯成分。前瞻成分指在恰当的时机记起要执行某项活动; 回溯成分指对要执行意向内容的记忆(Einstein & Mcdaniel, 1990)。前瞻成分涉及对前瞻记忆线索的觉察, 主要与注意相关; 而回溯成分涉及对意向内容的回忆和提取, 为记忆过程。前瞻成分和回溯成分的共同参与促成了前瞻记忆任务的成功执行, 任何一个成分的失败都会导致前瞻记忆失败。然而, 鲜有研究从成分分离的角度探讨数学学业不良生前瞻记忆表现较差的内部机制, 以及如何提高数学学业不良生的前瞻记忆成绩。

---

收稿日期: 2022-01-08

* 国家社会科学基金一般项目(BBA180082), 福建省教育厅高校新世纪优秀人才支持计划项目: 学业不良生前瞻记忆两种成分的影响因素、机制与提升策略(20180495)资助。

陈幼贞和张曼曼为本文共同第一作者。

通讯作者: 陈幼贞, E-mail: chenyouzhen08@163.com

数学学业不良生的前瞻记忆欠佳现象是何种成分导致的呢？纪莉莉和赵俊峰(2018, 11 月)采用 ERP 技术研究了学业不良生前瞻记忆意向提取的特点，发现学业不良生 N300 和前瞻性正波的潜伏期都更长，表明学业不良生在前瞻记忆目标检测和意向提取方面都占用了更多的认知资源。据此可推测，学业不良生的前瞻成分和回溯成分可能都是导致其前瞻记忆落后的原因。有研究通过建模分析表明，学业不良生的前瞻成分成绩比一般学生差，而回溯成分表现和一般儿童无显著差异，学业不良生的前瞻记忆不佳主要由前瞻成分导致(张红霞 等, 2016)；另有研究采用问卷法进行研究，发现学业不良生的回溯成分成绩差，应该从干预学业不良生的回溯记忆方面着手来提高其前瞻记忆成绩(Alotaibi & Ali, 2021)。但以上研究都没有以实验手段分离两种成分，因此数学学业不良生前瞻记忆表现较差的内部机制尚不明晰。

根据预备注意加工与记忆加工理论(Preparatory Attentional and Memory processes, PAM; Smith, 2003; Smith et al., 2007)，前瞻记忆加工包含预备注意加工和记忆加工两部分。预备注意加工指的是对前瞻记忆目标的检测需要持续投入注意资源，可对应于前瞻成分，因此前瞻成分表现受认知资源的影响，已有不少研究支持这一点，例如因个体认知功能尚未成熟(Zimmermann & Meier, 2010)、或衰退(陈思佚, 周仁来, 2010)导致的可用认知资源不足而影响前瞻成分表现，或者因任务负荷增加而导致可用的认知资源减少进而影响前瞻成分表现(陈幼贞 等, 2021; 侯宗树, 2020; 李小美, 2020)。记忆加工指的是从长时记忆提取意向内容，对应于回溯成分，是否受认知资源影响则与回溯任务的内容是否能够自动提取有关。有研究发现回溯成分受进行中任务负荷影响(Meier & Zimmermann, 2015)，另有研究发现回溯成分不受进行中任务负荷影响(陈幼贞 等, 2021; 侯宗树, 2020)。上述研究均以大学生为研究对象，在 Meier 等的研究中，回溯成分难度大，需要消耗较多认知资源加以提取，而后者的研究回溯成分简单，对于大学生来说可以实现自动提取，因此不受认知资源影响。而小学数学学业不良生的中央执行功能三个子成分(抑制、刷新和转换)均存在不足(任偲, 蔡丹, 2019)，且回溯记忆能力较差(Alotaibi & Ali, 2021)。在执行前瞻记忆任务过程中，需要在前瞻记忆目标出现时抑制进行中任务并立即转换到提取前瞻记忆意向，即使是简单的回溯成分任务，对于执行功能不良且记忆能力尚处于发展中的小学数学学业不良生来说也可能失败率较高，而且已有研究表明，数学学业不良生前瞻记忆表现受认知负荷的影响较大(Chen et al., 2016)，其前瞻记忆不同成分对进行中任务负荷变化可能更加敏感，因此，操纵进行中任务认知负荷，以实验手段分离两种成分，有利于进一步明晰数学学业不良生前瞻记忆两种成分的作用，对于制定提升其前瞻记忆能力的有效的针对性措施具有重要意义和应用价值。

前已述及，数学学业不良生前瞻记忆表现较差，尤其在高认知负荷下更甚，那么是否可以通过改变认知资源需求来改善其前瞻记忆成绩呢？已知执行意向编码是提高前瞻记忆表现的有效编码策略(陈幼贞 等, 2021; 于加裙 等, 2017; 于加裙 等, 2020)，它采用“如果情况 X 出现，那么就执行意向行为 Y”的形式，通过加强意向和行为之间的联系，减少认知资源的需求，促进前瞻记忆意向的自发提取(Rummel et al., 2012)。研究表明即使进行中任务负荷高，个体可用认知资源减少，采用执行意向编码依旧可以提高大学生的前瞻记忆成绩，即执行意向编码策略在认知资源受限的情况下，依然可以发挥优势作用(Mcdaniel et al., 2008)。然而，执行意向编码对不同年龄个体的作用不同，Zimmermann 和 Meier (2010)发现执行意向编码是减少前瞻记忆年龄差异的有效方法，可以显著改善前瞻成分的成绩，但他们没有考察执行意向编码对儿童前瞻记忆表现的效果。儿童的前瞻记忆表现比青少年和年轻人更差(Kretschmer-Trendowicz et al., 2021)，且其认知功能还未充分发展，采用执行意向编码减少认知控制需求，在执行前瞻记忆任务和进行中任务时，儿童应该更能从中获益。王光武(2010)研究证实执行意向编码对小学儿童前瞻记忆有促进作用。但尚未有研究探索执行意向编码对数学学业不良生的作用。Wieber 等(2015)指出执行意向编码对转换能力受限群体的前瞻记忆改善效果最为显著。数学学业不良生的转换能力不佳(Ji et al., 2021)，可推测执行意向编码应该有助于提高其前瞻记忆成绩。高认知负荷条件下，转换能力受到的影响更大，执行意向编码的促进作用可能更加显著。执行意向编码的 if 部分强调了发起反应的具体预期情境，类似于对前瞻记忆目标的检测；then 部分突出了实现前瞻记忆意图的具体反应，可对标对前瞻记忆内容的提取。研究发现执行意向编码有助于前瞻记忆目标的检测和意向行为的启动，影响注意和记忆过程

(Wieber et al., 2015)。据此推测, 执行意向编码可以加强前瞻成分和回溯成分之间的联系, 促进前瞻成分和回溯成分的提升。但执行意向编码对数学学业不良生前瞻记忆的改善效果有待证实、改善机制有待研究。

综上, 本研究假设: (1)数学学业不良生的前瞻记忆表现比学优生差, 且前瞻成分与回溯成分的表现均差于学优生; (2)高认知负荷条件下, 数学学业不良生和学优生的前瞻记忆、前瞻成分和回溯成分表现都比低认知负荷条件差; (3)执行意向编码可以提高不同认知负荷条件下数学学业不良生的前瞻记忆表现, 并作用于前瞻成分和回溯成分。

## 2　实验 1: 认知负荷对不同数学学业成就小学生前瞻记忆及其成分的影响

### 2.1　方法

#### 2.1.1　被试

使用 G*Power 3.1.9.2 对所需样本量进行先验分析, 设置效应量为中等效应($f$ = 0.25), $\alpha$ = 0.05, power 为 0.80, 得出总样本量至少为 34。考虑到被试不配合等因素的影响, 从龙岩市某小学五年级筛选出 38 名被试, 其中数学学业不良生 20 名, 平均年龄 11.50 岁($SD$ = 0.50), 数学学优生(以下简称学优生)18 名, 平均年龄 11.33 岁($SD$ = 0.88)。通过定量(采用标准分比较法, 比较瑞文智力测验和最后一次数学期末考试成绩 Z 分数的差值 $Z_{dif}$, 如果 $Z_{dif}$ 大于 $Z_{0.10}$ = 1.28, 则初步推断为数学学业不良生)和定性(邀请班主任和数学老师根据数学学业不良的定义进行数学成绩和智力的综合评定, 挑选适合的学生)方法相结合筛选数学学业不良生, 同时排除智力测验得分小于 70 和大于 130 的人群(董云英 等, 2008)。学优生同样采取定量(学业成绩筛选法)和定性的方法(教师评定法), 即至少连续两次数学考试成绩进入年级前 15% (张振宁, 2016), 并且任课教师评定其数学学业成绩优秀, 另外学优生的智力也处于正常范围(Chen et al., 2016; Chen, Xu, et al., 2018)。所有学生第一次参加此类实验, 单独施测, 实验结束后获得精美小礼品一份。

#### 2.1.2　实验设计

采用 2 (学生类别: 学优生、数学学业不良生) × 2 (进行中任务认知负荷水平: 高、低)混合实验设计。其中进行中任务认知负荷水平(以下简称认知负荷)为被试内变量, 学生类别为被试间变量, 认知负荷水平在被试间进行平衡。因变量为前瞻记忆任务、进行中任务、前瞻成分和回溯成分的正确率与反应时。

#### 2.1.3　实验材料

采用扑克牌作为实验材料, 分别是 1~10 的黑梅花和黑桃扑克牌图片 20 张。黑桃 7 为前瞻记忆目标材料, 剩余的扑克牌为进行中任务材料。

#### 2.1.4　实验任务

进行中任务: 高负荷条件下(2-back), 要求被试判断当前呈现的扑克牌与前面呈现的第二张扑克牌是否一致; 低负荷条件下(1-back), 要求被试判断当前呈现的扑克牌与上一张扑克牌是否一致; 如果相同按 J 键, 不同按 K 键。采用 Meier 和 Zimmermann (2015)的成分分离方法进行前瞻记忆成分的分离。前瞻记忆任务: 要求被试在实验开始后左手食指一直按住键盘左边 shift 键, 前瞻记忆目标黑桃 7 出现时, 左手食指立即松开 shift 键, 并且用左手食指去按 W 键。前瞻成分正确率为前瞻记忆目标词出现时被试松开 shift 键的正确率, 反应时为前瞻记忆目标出现到松开 shift 键的时间; 回溯成分正确率为松开 shift 键到正确按 W 键的正确率, 反应时为松开 shift 键到正确按 W 键的时间。

#### 2.1.5　实验程序

采用 E-prime 2.0 编制实验程序, 并在电脑上进行呈现。如图 1 所示, 首先呈现进行中任务指导语, 确保被试理解之后, 指导被试执行练习阶段。然后呈现前瞻记忆任务指导语, 被试理解之后进行正式实验阶段(包括 2 个 block: 高认知负荷和低认知负荷, 2 个 block 顺序在被试间进行平衡), 前瞻记忆任务嵌于进行中任务之中。每个 block 有 4 个前瞻记忆目标试次(黑桃 7 出现 4 次)和 76 个进行中任务试次组成。具体材料呈现顺序如图 2 所示, 图片呈现之前, 电脑屏幕上会呈现一个“+”注视点(500 ms),

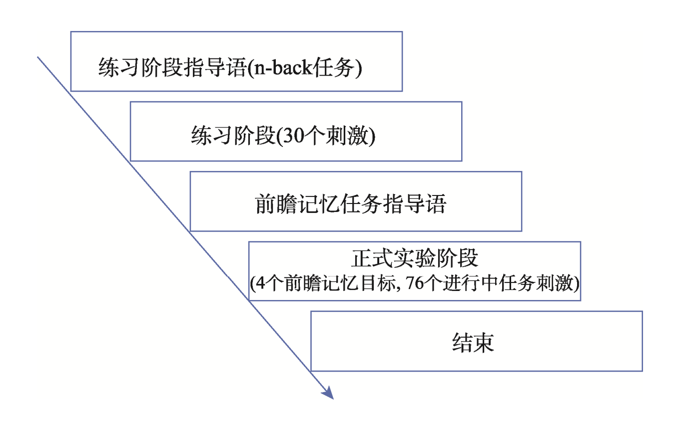



图 1　实验流程

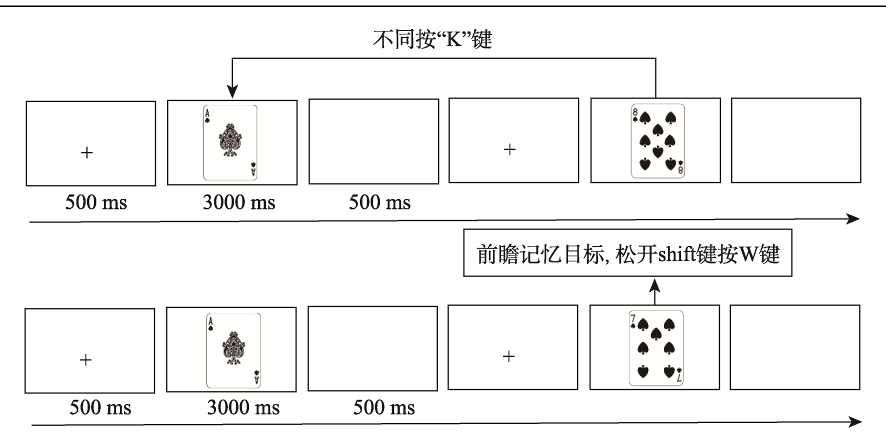



图 2 刺激流程图

之后呈现扑克牌(3000 ms)，要求被试对扑克牌进行操作，被试做出操作或者 3000 ms 结束，会呈现一个空屏，之后到下一个循环。

### 2.2 结果与分析

剔除 3 个标准差以外的数据，剩余有效数据 36 个，其中学优生 17 人，数学学业不良生 19 人。采用 SPSS 20.0 进行统计分析。

#### 2.2.1 前瞻记忆成绩

高、低认知负荷条件下，学优生和数学学业不良生前瞻记忆成绩的正确率(即前瞻成分正确率和回溯成分正确率的乘积)和反应时如表 1 所示。首先对前瞻记忆的正确率、反应时分别进行 2×2 重复测量方差分析。

**表 1 高低认知负荷下学优生和数学学业不良生的前瞻记忆成绩[*M* (*SD*)]**

| 认知负荷 | 前瞻记忆 | |
|---|---|---|
| | 正确率 | 反应时(ms) |
| 高 | | |
| 学优生 | 0.37 (0.37) | 2273 (335) |
| 数学学业不良生 | 0.14 (0.27) | 2443 (228) |
| 低 | | |
| 学优生 | 0.56 (0.31) | 2323 (881) |
| 数学学业不良生 | 0.24 (0.35) | 2666 (637) |

正确率方面：认知负荷主效应显著，$F(1, 34) = 9.44$, $p = 0.004$, $\eta_p^2 = 0.22$，低认知负荷条件下前瞻记忆的正确率显著高于高认知负荷条件；学生类别主效应显著，$F(1, 34) = 7.70$, $p = 0.009$, $\eta_p^2 = 0.19$，学优生的前瞻记忆正确率显著高于数学学业不良生。认知负荷与学生类别的交互作用不显著，$F(1, 34) = 1.56$, $p = 0.290$。

反应时方面：认知负荷的主效应不显著，$F(1, 34) = 1.35$, $p = 0.253$，学生类别的主效应不显著，$F(1, 34) = 2.86$, $p = 0.100$；两者交互作用也不显著，$F(1, 34) = 0.548$, $p = 0.464$。

#### 2.2.2 前瞻记忆两种成分

为了考察认知负荷高低对不同数学学业成就小学生前瞻记忆两种成分的影响，分别对前瞻记忆两种成分的正确率和反应时进行2×2重复测量方差分析，描述统计部分如表 2 所示。

对前瞻成分正确率的分析发现，认知负荷的主效应显著，$F(1, 34) = 9.28$, $p = 0.004$, $\eta_p^2 = 0.21$，低认知负荷条件的前瞻成分正确率显著高于高认知负荷条件；学生类别的主效应显著，$F(1, 34) = 5.30$, $p = 0.028$, $\eta_p^2 = 0.14$，学优生的前瞻成分正确率显著

**表 2 高低认知负荷下学优生和数学学业不良生前瞻记忆成分的成绩[*M*(*SD*)]**

| 认知负荷 | 前瞻成分 | | 回溯成分 | |
|---|---|---|---|---|
| | 正确率 | 反应时(ms) | 正确率 | 反应时(ms) |
| 高 | | | | |
| 学优生 | 0.37 (0.37) | 1805 (355) | 0.65 (0.50) | 468 (162) |
| 数学学业不良生 | 0.20 (0.28) | 1976 (323) | 0.22 (0.43) | 534 (109) |
| 低 | | | | |
| 学优生 | 0.56 (0.31) | 1693 (785) | 1.00 (0.00) | 630 (283) |
| 数学学业不良生 | 0.26 (0.35) | 2114 (576) | 0.33 (0.49) | 551 (158) |

高于数学学业不良生; 认知负荷与学生类别的交互作用不显著, $F(1, 34) = 2.21, p = 0.146$。对前瞻成分的反应时进行分析发现, 认知负荷主效应不显著, $F(1, 34) = 0.02, p = 0.888$; 学生类别的主效应不显著, $F(1, 34) = 3.79, p = 0.060$; 二者交互作用也不显著, $F(1, 34) = 1.72, p = 0.199$。

对回溯成分正确率的分析发现, 认知负荷主效应显著, $F(1, 34) = 10.98, p = 0.002, \eta_p^2 = 0.25$, 低认知负荷条件的回溯成分正确率显著高于高认知负荷条件; 学生类别的主效应显著, $F(1, 34) = 21.05, p < 0.01, \eta_p^2 = 0.39$, 学优生的回溯成分正确率显著高于数学学业不良生; 认知负荷与学生类别的交互作用不显著, $F(1, 33) = 2.98, p = 0.094$。对回溯成分反应时的分析发现, 认知负荷的主效应显著, $F(1, 34) = 5.60, p = 0.024, \eta_p^2 = 0.14$, 高负荷条件的反应显著快于低负荷条件; 学生类别的主效应不显著, $F(1, 34) = 0.01, p = 0.906$; 认知负荷高低和学生类别的交互作用不显著, $F(1, 34) = 3.68, p = 0.063$; 其他条件不存在显著差异, $ps > 0.154$。

### 2.2.3　进行中任务成绩

为了考察认知负荷高低对不同类别学生的进行中任务表现(见表 3)的影响, 同样对进行中任务的正确率和反应时进行 2×2 的重复测量方差分析。

表 3　高低认知负荷下学优生和数学学业不良生的进行中任务成绩[*M*(*SD*)]

| 认知负荷 | 进行中任务成绩 | |
|---|---|---|
| | 正确率 | 反应时(ms) |
| 高 | | |
| 学优生 | 0.80 (0.07) | 1879 (664) |
| 数学学业不良生 | 0.66 (0.11) | 1432 (461) |
| 低 | | |
| 学优生 | 0.90 (0.06) | 1221 (435) |
| 数学学业不良生 | 0.87 (0.07) | 1197 (310) |

对进行中任务正确率的分析发现, 认知负荷主效应显著, $F(1, 34) = 68.53, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.67$, 低认知负荷条件下进行中任务正确率显著高于高认知负荷条件; 学生类别主效应显著, $F(1, 34) = 17.80, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.34$, 学优生的进行中任务正确率高于数学学业不良生; 认知负荷高低和学生类别的交互作用显著, $F(1, 34) = 8.67, p = 0.006, \eta_p^2 = 0.20$。进一步简单效应检验显示, 在高认知负荷水平中, 学优生进行中任务正确率显著高于数学学业不良生, $F(1, 34) = 19.55, p < 0.001$, 90% CI = [0.15, 0.52]; 而在低认知负荷水平中, 学生类别主效应不显著, $F(1, 34) = 2.22, p = 0.146$。

对进行中任务反应时的分析发现, 认知负荷主效应显著, $F(1, 34) = 39.59, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.54$, 低认知负荷条件下的进行中任务反应时显著快于高认知负荷条件; 学生类别主效应不显著, $F(1, 34) = 2.70, p = 0.110$; 认知负荷和学生类别交互作用显著, $F(1, 34) = 8.85, p = 0.005, \eta_p^2 = 0.21$。进一步简单效应检验显示, 在高认知负荷水平中, 学优生进行中任务反应时显著长于数学学业不良生, $F(1, 34) = 5.60, p = 0.024$, 90% CI = [0.01, 0.31]; 在低认知负荷条件中, 学生类别主效应不显著, $F(1, 34) = 0.04, p = 0.844$。

## 2.3　小结

数学学业不良生的前瞻记忆正确率低于学优生, 支持了 Chen 等(2016)的研究。同时还发现与学优生相比, 数学学业不良生的前瞻成分和回溯成分的正确率都更低, 表明数学学业不良生的前瞻记忆表现不佳是前瞻成分和回溯成分共同导致的, 支持了假设一的观点。

与假设 2 一致, 高认知负荷条件下前瞻记忆、前瞻成分和回溯成分正确率都低于低认知负荷条件。高负荷条件下, 前瞻记忆的执行需要较高的注意资源需求, 任务难度相对更大, 因此执行成绩相对较差。然而, 高认知负荷条件下回溯成分的反应时快于低认知负荷条件下回溯成分的反应时, 我们推测高认知负荷条件下被试可能感觉到了压力, 从而尽快进行了反应, 但这一效应是否稳定, 可能需要后续研究结合想法探测范式进行研究。

学生类别对前瞻成分的效果量($\eta_p^2 = 0.14$)低于对回溯成分的效果量($\eta_p^2 = 0.39$)。认知负荷对前瞻成分的效果量($\eta_p^2 = 0.21$)与对回溯成分的效果量($\eta_p^2 = 0.25$)相当。根据 Cohen (1998)的标准, 效果量在 0.16 以上, 显示变量之间的强关系; 效果量在 0.06~0.16, 显示变量之间中到强的关系。实验 1 的结果说明不同学生类别前瞻记忆的差别主要体现在前瞻成分和回溯成分, 认知负荷对前瞻成分和回溯成分的影响几乎一致。

高认知负荷条件下, 学优生进行中任务的正确率高于数学学业不良生, 反应时慢于数学学业不良生, 结合前瞻记忆及其两种成分的正确率, 学优生均高于数学学业不良生。可以推测为, 在高认知负荷条件下, 学优生为了能更准确地完成两种任务, 放慢了进行中任务的速度来保持正确率。

前瞻记忆表现对学业成就、日常生活有重要影响，因此探索能够提高数学学业不良生前瞻记忆表现的策略十分必要。研究表明，执行意向编码能够促进意向−行为的自发提取，是促进未来意向执行的最有前途的策略(Rummel et al., 2012)，但执行意向编码是否可以提高小学数学学业不良生的前瞻记忆成绩以及对不同成分的影响还缺少有效证据，因此我们进一步实施了实验2来探究执行意向编码对不同认知负荷条件下数学学业不良生前瞻记忆及其两种成分的影响。

# 3 实验 2：编码方式、认知负荷对数学学业不良生前瞻记忆及其成分的影响

## 3.1 方法

### 3.1.1 被试

采用 G*Power3.1.9.2 预估样本量，设置效应量为中等效应($f$ = 0.25)，α = 0.05，power 为 0.80，得出实验 2 至少需要 34 名被试。从某小学的五年级各个班级选取数学学业不良生 60 名，平均年龄 11.32 岁($SD$ = 0.53)。数学学业不良生的选取方法与实验 1 相同。所有参与实验的被试都未曾参加过类似的实验且都为单独施测。

### 3.1.2 实验材料

与实验 1 相同。

### 3.1.3 实验设计

采用 2 (编码方式：标准编码、执行意向编码) × 2 (认知负荷：高、低)混合实验设计。认知负荷为被试内变量，编码方式为被试间变量。认知负荷的实施顺序在被试间平衡。

### 3.1.4 实验程序

除了指导语不同外，其他程序与实验 1 相同。标准编码的前瞻记忆任务指导语是：当你遇见黑桃 7，不用比较相同与否，直接松开 shift 健，按 W 键，读 4 遍。执行意向编码指导语是：如果你遇见黑桃 7，那么松开 shift 健，按 W 键(使用“if-then 的编码形式”)，并要求被试将“如果你遇见黑桃 7，松开 shift 健，按 W 键”重复 4 遍，并在脑海中想象四次在进行实验过程中遇到黑桃 7，松开 shift 健，按 W 键的动作。

## 3.2 结果与分析

实验采用 SPSS 20.0 对不同目标条件下的反应时、正确率进行统计分析，剔除 3 个标准差以外的数据，剩余有效数据 56 个。

### 3.2.1 前瞻记忆表现

对不同编码方式和认知负荷的前瞻记忆正确率和反应时(见表 4)分别进行 2×2 的重复测量方差分析。

**表 4 高低认知负荷下不同编码方式的前瞻记忆表现[$M$ ($SD$)]**

| 认知负荷 | 前瞻记忆 | |
|---|---|---|
| | 正确率 | 反应时(ms) |
| 高 | | |
| 标准编码 | 0.14 (0.27) | 2627 (614) |
| 执行意向编码 | 0.40 (0.43) | 2208 (650) |
| 低 | | |
| 标准编码 | 0.28 (0.36) | 2452 (265) |
| 执行意向编码 | 0.50 (0.38) | 2174 (490) |

前瞻记忆正确率方面的结果显示，认知负荷主效应显著，$F(1, 54) = 8.76$, $p = 0.005$, $\eta_p^2 = 0.14$，低认知负荷条件的前瞻记忆正确率显著高于高认知负荷条件；编码方式主效应显著，$F(1, 54) = 6.97$, $p = 0.011$, $\eta_p^2 = 0.11$，执行意向编码条件的正确率显著高于标准编码条件；认知负荷和编码方式的交互作用不显著，$F(1, 54) = 1.19$, $p = 0.664$。

前瞻记忆的反应时：认知负荷主效应不显著，$F(1, 54) = 1.33$, $p = 0.254$；编码方式主效应显著，$F(1, 54) = 10.21$, $p = 0.002$, $\eta_p^2 = 0.16$，执行意向编码条件的反应速度显著快于标准编码条件；二者交互作用不显著，$F(1, 54) = 0.60$, $p = 0.443$。

### 3.2.2 前瞻记忆两种成分

为了考察进行中任务的认知负荷高低以及编码方式对数学学业不良生前瞻记忆两种成分(见表 5)的影响，分别对其前瞻记忆两种成分的正确率和反应时进行 2×2 重复测量方差分析。

前瞻成分正确率分析结果显示，认知负荷主效应显著，$F(1, 54) = 7.54$, $p = 0.008$, $\eta_p^2 = 0.12$，低认知负荷条件的前瞻成分正确率显著高于高认知负荷条件；编码方式主效应显著，$F(1, 54) = 5.34$, $p = 0.025$, $\eta_p^2 = 0.09$，执行意向编码的前瞻成分正确率显著高于标准编码条件；认知负荷和编码方式的交互作用不显著，$F(1, 54) = 0.006$, $p = 0.939$。

前瞻成分反应时：认知负荷主效应不显著，$F(1, 54) = 2.32$, $p = 0.134$；编码方式主效应显著，$F(1, 54) = 4.56$, $p = 0.037$, $\eta_p^2 = 0.08$，执行意向编码条件的反应时显著长于标准编码条件；认知负荷和编码方式的交互作用不显著，$F(1, 54) = 0.65$, $p = 0.43$。

表 5　高低认知负荷下不同编码方式的前瞻记忆成分表现[*M*(*SD*)]

| 认知负荷 | 前瞻成分 | | 回溯成分 | |
|---|---|---|---|---|
| | 正确率 | 反应时 (ms) | 正确率 | 反应时 (ms) |
| 高 | | | | |
| 标准编码 | 0.19 (0.29) | 2031 (498) | 0.25 (0.43) | 596 (415) |
| 执行意向编码 | 0.41 (0.43) | 1863 (774) | 0.60 (0.50) | 589 (576) |
| 低 | | | | |
| 标准编码 | 0.30 (0.35) | 1967 (236) | 0.46 (0.51) | 503 (177) |
| 执行意向编码 | 0.51 (0.39) | 1655 (462) | 0.73 (0.45) | 525 (396) |

对回溯成分正确率进行重复测量方差分析结果显示, 认知负荷的主效应显著, $F(1, 54) = 11.09$, $p = 0.002$, $\eta_p^2 = 0.17$, 低认知负荷条件下回溯成分的正确率显著高于高认知负荷条件; 编码方式主效应显著, $F(1, 54) = 6.99$, $p = 0.011$, $\eta_p^2 = 0.12$, 执行意向编码条件下回溯成分的正确率显著高于标准编码条件; 认知负荷和编码方式的交互作用不显著, $F(1, 54) = 0.73$, $p = 0.396$。

同样对回溯成分反应时进行分析发现, 认知负荷主效应不显著, $F(1, 54) = 1.06$, $p = 0.308$; 编码方式的主效应不显著, $F(1, 54) = 0.01$, $p = 0.930$; 认知负荷高低和编码方式的交互作用不显著, $F(1, 54) = 0.04$, $p = 0.852$。

#### 3.2.3　进行中任务表现

为考察不同认知负荷以及编码方式对数学学业不良生进行中任务表现(见表 6)的影响, 分别对其进行中任务的正确率和反应时进行2×2重复测量方差分析。

表 6　高低认知负荷下不同编码方式的进行中任务表现[*M*(*SD*)]

| 认知负荷 | 进行中任务表现 | |
|---|---|---|
| | 正确率 | 反应时(ms) |
| 高 | | |
| 标准编码 | 0.69 (0.11) | 1521 (504) |
| 执行意向编码 | 0.66 (0.15) | 1430 (546) |
| 低 | | |
| 标准编码 | 0.85 (0.08) | 1286 (436) |
| 执行意向编码 | 0.77 (0.17) | 1331 (558) |

正确率方面: 认知负荷主效应显著, $F(1, 54) = 40.33$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.43$, 在低认知负荷条件的数学学业不良生的进行中任务的正确率显著高于高认知负荷条件; 编码方式主效应不显著, $F(1, 54) = 2.93$, $p = 0.093$; 认知负荷和编码方式的交互作用不显著, $F(1, 54) = 1.24$, $p = 0.270$。

反应时方面: 认知负荷主效应显著, $F(1, 54) = 11.60$, $p = 0.001$, $\eta_p^2 = 0.18$, 低认知负荷条件下的进行中任务的反应速度显著快于高负荷条件下; 编码方式主效应不显著, $F(1, 54) = 0.03$, $p = 0.861$; 认知负荷和编码方式的交互作用不显著, $F(1, 54) = 1.95$, $p = 0.169$。

### 3.3　小结

实验 2 验证了实验 1 的发现, 即低认知负荷条件下, 被试的前瞻记忆、前瞻成分、回溯成分和进行中任务成绩优于高认知负荷条件下。且前瞻成分和回溯成分正确率的效应量都达到 0.06 以上, 证实不同认知负荷条件下前瞻成分和回溯成分的作用一致。

相比于标准编码, 执行意向编码更有效地提高前瞻记忆表现, 且不影响进行中任务的完成, 证实了假设 3, 即通过采用执行意向编码, 数学学业不良生的前瞻记忆成绩得以显著提升, 且并不占用进行中任务的认知资源。此外, 执行意向编码可以显著提升数学学业不良生前瞻成分和回溯成分的正确率, 且前瞻成分正确率的效果量为 0.09, 回溯成分正确率的效果量为 0.12, 根据 Cohen (1998)的标准, 都处于中到强的关系, 表明执行意向编码可以同时提高前瞻成分和回溯成分成绩。而且, 执行意向编码条件下前瞻成分的反应时快于标准编码($\eta_p^2 = 0.18$), 回溯成分的反应时与标准编码差异不显著, 表明不同编码条件下反应时的差异是由前瞻成分反应时的差异导致的。

## 4　总讨论

### 4.1　数学学业不良生的前瞻记忆表现欠佳及其内部机制

本研究发现, 学优生的前瞻记忆的正确率高于数学学业不良生, 数学学业不良生的前瞻记忆表现较差, 这一结果与之前的研究一致(Chen et al.,

2016; Chen, Xu, et al., 2018; Ji et al., 2021)，都表明数学学业不良生在前瞻记忆方面存在困难。原因可能在于：数学学业不良生的执行功能较差(张欣，王恩国，2021)，而执行功能完善与否和前瞻记忆表现之间具有直接关系(Mahy et al., 2014)，因此导致数学学业不良生不能很好地完成前瞻记忆任务。下文将从前瞻成分和回溯成分的角度分别进行探讨。

本研究发现相比于学优生，数学学业不良生前瞻记忆表现较差是由前瞻成分和回溯成分成绩较差导致的。这可能因为虽然前瞻成分和回溯成分属于不同的加工过程，但其存在共同的神经基础——前额叶皮层(BA10) (Simons et al., 2006)，而且前额叶皮层与学业不良关系密切(Blair，2004)，这为两种成分一致影响前瞻记忆提供了神经基础。

数学学业不良生前瞻成分的正确率显著低于学优生，前瞻成分成绩下降导致了前瞻记忆成绩下降，这与张红霞等(2016)对学业不良生前瞻记忆的研究一致，注意监控失败导致了其前瞻记忆成绩落后。从神经基础的角度分析，前额叶皮层为注意监控和学业不良的共同神经基础(Blair，2004)，数学学业不良生存在注意监控缺陷(曾守锤，吴华清，2004)，很难有足够的认知资源从事对前瞻记忆目标的预备注意加工，从而导致前瞻记忆目标检测(detection)失败。同时表明对前瞻记忆目标的注意是需要认知资源的，支持了预备注意加工与记忆加工理论。

数学学业不良生回溯成分的正确率显著低于学优生，回溯成分较差也是导致其前瞻记忆失败的重要原因。回溯成分的完成需要抑制对进行中任务的优势反应，从长时记忆中正确提取意向内容(Zimmermann & Meier, 2006)，顺利转换到前瞻记忆任务中(Mahy et al., 2014)。抑制、转换等执行功能的神经基础也为前额叶皮层(Banich，2009)，前额叶皮层作为共同的脑区为回溯成分影响前瞻记忆提供了可能性。Ji 等(2021)也发现转换能力可以显著预测数学学业不良生的前瞻记忆表现，因此数学学业不良生可能较难从进行中任务顺利切换到前瞻记忆意向内容，导致回溯成分成绩较差。但是，张红霞等(2016)采用多项加工树模型，以初一年级的学业不良生为研究对象，却发现回溯成分不是导致前瞻记忆失败的主要原因。我们推测产生这一争议结果的原因可能是年级的影响。从儿童到青少年时期个体的执行功能和回溯记忆不断发展共同驱动了前瞻记忆的发展(Kretschmer-Trendowicz et al., 2021; Mahy et al., 2014)，初一学生的回溯记忆表现优于五年级小学生，小学五年级学生在使用记忆策略方面的能力弱于初一学生(Mattli et al., 2014)，因此回溯成分不足影响了数学学业不良小学生的前瞻记忆成绩。另外 Zimmermann 和 Meier (2006)指出不同年龄群体的前瞻记忆表现在整个生命周期中呈倒 U 型曲线的趋势，前瞻成分在童年期上升，在老年期下降；回溯成分方面在其他年龄阶段缓慢发展，在老年期显著下降。因此，后续可以以发展的视角，探索不同年龄、不同类型学业不良生前瞻记忆表现较差的内部机制。

### 4.2 认知负荷通过前瞻和回溯成分影响学优生和数学学业不良生的前瞻记忆表现

高认知负荷条件的前瞻记忆正确率低于低认知负荷条件，表明前瞻记忆任务和进行中任务互相竞争认知资源，当进行中任务认知负荷高时，个体可用的认知资源更少，前瞻记忆表现更差。证明了当通过进行中任务的难易程度操纵认知资源的可用性时，会对前瞻记忆成绩产生直接影响(Kretschmer-Trendowicz et al., 2021)。工作记忆认知负荷高时，数学学业不良生和学优生的进行中任务表现存在显著差异；认知负荷低时，数学学业不良生和学优生的进行中任务表现没有显著差异，高认知负荷条件下数学学业不良生受到的影响更大，验证了 Chen 等(2016)的研究。数学学业不良生的中央执行功能较差(刘昌，2004)，所以在完成简单任务时和学优生没有差异，但是在执行高认知负荷任务时，中央执行功能的缺陷就会凸显出来。

实验 1 和实验 2 的结果一致表明，低认知负荷条件下前瞻成分和回溯成分的正确率都高于高认知负荷条件，我们发现了进行中任务的认知负荷会同时影响前瞻成分和回溯成分的初步证据。根据预备注意加工与记忆加工理论，进行中任务认知负荷影响前瞻成分。具体来讲，对前瞻记忆线索的检索需要预先的预备注意加工，高认知负荷条件下被试可用的认知资源减少，因此检索成功的可能性降低，而低认知负荷条件下被试可用的认知资源较多，因此检索成功的可能性提高。

认知负荷影响回溯成分成绩，表明数学学业不良生对前瞻记忆意向内容的提取不是自动加工，而是需要消耗认知资源的。这与 Meier 和 Zimmermann (2015)对年轻人的研究一致，前瞻意向内容的提取(回溯成分)需要认知资源从进行中任务中脱离出来并转换到前瞻记忆任务上，任务转换和提取依赖于相同的加工资源，因此高认知负荷条件下被试更难

从进行中任务中脱离出来，进行中任务认知负荷对回溯成分产生影响。

综上，虽然不同认知负荷条件下，前瞻记忆任务设置均比较简单，前瞻成分和回溯成分对认知资源的需求比较小，但高认知负荷条件下，两种成分的表现都差于低认知负荷条件。这说明，对前瞻记忆目标的检测和意向提取均需占用认知资源，证明了预备注意加工与记忆加工理论。

### 4.3　执行意向编码可提高数学学业不良生的前瞻记忆成绩

已有研究表明，执行意向编码可以显著提高年轻人的前瞻记忆成绩(如，千加裙 等，2017; 2020)，本研究扩宽了执行意向编码的适用群体，发现执行意向编码也可以有效提高数学学业不良生的前瞻记忆成绩。

编码方式和认知负荷的交互作用不显著，表明执行意向编码的优势作用不受认知负荷的影响。并且，不同编码条件下，进行中任务表现不存在显著差异，表明执行意向编码不占用进行中任务的认知资源。执行意向编码对数学学业不良生的促进作用是一种自动加工。支持了 Rummel 等(2012)的观点，执行意向编码加强了前瞻记忆线索和行为之间的联结，从而加深了前瞻记忆线索的编码痕迹，促进了前瞻记忆线索的相对自动加工。执行意向编码的强势效应，减少了任务执行过程中对认知资源和工作记忆的需求，弥补了数学学业不良生执行功能的不足，最终促使了数学学业不良生前瞻记忆成绩提升。然而，这与 Kretschmer-Trendowicz 等人(2021)的结论不同，他们发现执行意向编码不能有效改善不同认知负荷条件下儿童的前瞻记忆成绩。我们推测可能是因为对认知负荷和执行意向编码的操纵不同导致的。认知负荷的操纵方面，Kretschmer-Trendowicz 等人采用任务转换范式操纵高、低认知负荷，而本研究采用 n-back 范式操纵高、低认知负荷; 执行意向编码的操纵方面，Kretschmer-Trendowicz 等人要求被试大声重复 3 遍执行意向编码指导语并想象执行情境，而本研究要求被试重复 4 遍执行意向编码指导语并想象执行情境。目前执行意向编码对儿童前瞻记忆影响的研究还很欠缺，且尚无定论。未来研究可以进一步扩大研究群体，探索执行意向编码对儿童的影响。

### 4.4　执行意向编码可提高数学学业不良生的前瞻成分和回溯成分成绩

实验 2 发现执行意向编码对数学学业不良生前瞻成分正确率与回溯成分正确率的促进作用相当($\eta_p^2 = 0.09$; $\eta_p^2 = 0.12$)，表明执行意向编码可以显著提高数学学业不良生的前瞻成分和回溯成分成绩。或许是因为执行意向编码在编码阶段激活了额下回(BA10)和缘上回(BA40) (Chen, Liu, et al., 2018)，而 BA10 区为前瞻成分和回溯成分共同的神经基础，因此执行意向编码对两种成分都起作用。

执行意向编码对前瞻成分有促进已得到前人研究的支持，而对回溯成分的促进作用尚存在争议。例如，陈幼贞等(2021)的研究发现执行意向编码对大学生前瞻记忆的促进效应是由前瞻成分促成的，而对回溯成分没有影响，出现这种差异我们认为一方面是被试群体不同，本研究选取的数学学业不良生为小学生，与陈幼贞等(2021)研究所选取的大学生群体的回溯记忆发展水平存在异质性，已有研究表明相比较成年人，回溯成分对儿童的前瞻记忆表现更加重要，回溯记忆在儿童期不断发展，成年期(大学生正处于该时期)达到很高的水平，在老年期相对下降(Mattli et al., 2014)，因此执行意向编码对小学生的回溯成分的促进效应明显，而对大学生的促进效果未能体现; 另一方面，对执行意向编码的操纵不同，本研究要求被试重复指导语之后再进行了想象，而陈幼贞等(2021)只要求被试重复了 4 遍指导语，想象可能加深了执行意向编码的加工深度，被试在头脑中对前瞻记忆任务进行了心智操作的演练。未来研究可以进一步操纵执行意向编码的不同操作方式，来探索执行意向编码对前瞻记忆不同成分的影响以及执行意向编码的加工机制问题。

## 5　结论

综合以上两个实验结果，本研究发现：数学学业不良生的前瞻记忆、前瞻成分和回溯成分成绩均差于学优生; 高认知负荷条件下的前瞻记忆、前瞻成分和回溯成分表现均比低认知负荷条件下更差; 执行意向编码通过改善前瞻成分和回溯成分成绩来提升数学学业不良生前瞻记忆表现。

## 参　考　文　献


Alotaibi, R. M., & Ali, K. J. (2021). Prospective memory in students with learning disabilities. *Specijalna Edukacija I Rehabilitacija*, *20*(3), 161–169.

Banich, M. T. (2009). Executive function: The search for an integrated account. *Current Directions in Psychological Science*, *18*(2), 89–94.

Blair, C. (2004). Learning disability, intelligence, and fluid

cognitive functions of the prefrontal cortex: A developmental neuroscience approach. *Learning Disabilities: A Contemporary Journal*, *2*(1), 22–29.
Chen, L., & Zhao, W. (2013). A review of the present research on learning disabilities in mathematics in China. *Chinese Journal of Special Education*, (8), 61–66.
[陈立，赵微. (2013). 我国数学学习困难研究现状述评. *中国特殊教育*, (8), 61–66.]
Chen, S. Y., & Zhou, R. L. (2010). Age-related declines in prospective memory: Modulation of the prospective and retrospective components. *Acta Psychologica Sinica, 42*(6), 640–650.
[陈思佚，周仁来. (2010). 前瞻记忆的年老化效应:前瞻成分和回溯成分的调节作用. *心理学报, 42*(6), 640–650.]
Chen, X. J., Liu, L. L., Wang, Y., Shum, D., & Chan, R. (2014, September). *Self- and other-reported prospective memory problems in everyday life: A lifespan perspective*. Poster session presented at The Fourth Mental Health Annual Meeting. Wuxi, China.
[陈星洁，刘露露，王亚，Shum, D.，陈楚侨. (2014, 9 月). *自我报告和他人报告的前瞻记忆问题: 毕生发展的视角*. 第四届心理健康学术年会，江苏无锡.]
Chen, X. J., Liu, L. L., Wang, Y., Yang, T. X., Huang, J., Li, K.,… Chan, R. C. (2018). Neural correlates of the effect of implementation intention on prospective memory. *PsyCh Journal*, *8*(2), 261–270.
Chen, Y., Lian, R., Yang, L., Liu, J., & Meng, Y. (2016). Working memory load and reminder effect on event-based prospective memory of high-and low-achieving students in math. *Journal of Learning Disabilities*, *50*(5), 602–608.
Chen, Y., Xu, Y., Liu, J., Yang, L., & Lian, R. (2018). Effects of target salience and task importance on prospective memory and its prospective interference in low and high achieving pupils in math. *Journal of Psychological Science*, *41*(3), 586–593.
Chen, Y. Z., Xin, C., & Hu, J. H. (2021). Effects of cognitive load and encoding modes on prospective memory and its two components. *Journal of Psychological Science, 44*(3), 545–551.
[陈幼贞，辛聪，胡锦慧. (2021). 认知负荷与编码方式对前瞻记忆及其成分的影响. *心理科学, 44*(3), 545–551.]
Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Hillsdalee, NJ: Erlbaum.
Dong, Y. Y., Zhou, R. L., & Guo, X. Y. (2008). An experimental research on prospective memory in children with learning disabilities. *Chinese Journal of Special Education*, (7), 68–74.
[董云英，周仁来，郭秀艳. (2008). 学业不良儿童前瞻记忆的实验研究. *中国特殊教育,* (7), 68–74.]
Einstein, G. O., & Mcdaniel, M. A. (1990). Normal aging and prospective memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 16*(4), 717–726.
Gan, J. Q., Guo, Y. X., Guo, Y. F., Zhang, Z., & Chen, Y. Z. (2017). The effect of implementation intentions on prospective memory under different cognitive load. *Studies of Psychology and Behavior, 15*(6), 743–749.
[干加裙，郭盈秀，郭云飞，张哲，陈幼贞. (2017). 执行意向在不同认知负荷下对前瞻记忆的影响. *心理与行为研究,* 15(6), 743–749.]
Gan, J. Q., Zhang, M. M., Hu, J. H., Guo, Y. F., & Chen, Y. Z. (2020). The underlying mechanism of implementation intention on event-based prospective memory. *Studies of Psychology and Behavior, 18*(1), 53–59.
[干加裙，张曼曼，胡锦慧，郭云飞，陈幼贞. (2020). 执行意向影响事件性前瞻记忆的加工机制. *心理与行为研究, 18*(1), 53–59.]
Guo, Y. F., Gan, J. Q., Zhang, Z. Huang, T. H., & Chen, Y. Z. (2016). The effects of encoding types, cognitive loading, and number of cues on prospective memory. *Journal of Psychological Science, 39*(5), 1058–1063.
[郭云飞，干加裙，张哲，黄婷红，陈幼贞. (2016). 编码方式、认知负荷和线索数量对前瞻记忆的影响. *心理科学, 39*(5), 1058–1063.]
Hou, Z. S. (2020). *The influence of target context specification on strategic prospective memory monitoring and two components* (Unpubilshed master 's thesis). Fujian Normal University, China.
[侯宗树. (2020). *目标情境特定性对前瞻记忆策略监控及两种成分的影响* (硕士学位论文). 福建师范大学，福州.]
Ji, L., Zhao, Q., Gu, H., Chen, Y., Zhao, J., Jiang, X., & Wu, L. (2021). Effect of executive function on event-based prospective memory for different forms of learning disabilities. *Frontiers in Psychology*, *12*, Article528883. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.528883
Ji, L. L., & Zhao, J. F. (2018, November). *The research on event-based prospective memory of children with LD: Evidence from ERP*. Paper presented at National Academic Congress of Psychology, Beijing, China.
[纪莉莉，赵俊峰. (2018, 11 月). *学困儿童基于事件前瞻记忆意图提取的 ERP 研究*. 全国心理学学术会议，北京.]
Johnson, E. S., Humphrey, M., Mellard, D. F., Woods, K., & Swanson, H. L. (2010). Cognitive processing deficits and students with specific learning disabilities: A selective meta-analysis of the literature. *Learning Disability Quarterly*, *33*(1), 3–18.
Kretschmer-Trendowicz, A., Kliegel, M., Goschke, T., & Altgassen, M. (2021). 'If-then' but when? Effects of implementation intentions on children's and adolescents' prospective memory. *Cognitive Development, 57*(7), Article100998. https://doi.org/10.1016/j.cogdev.2020.100998
Li, X. M. (2020). *The influence of target valence and cognitive load on prospective memory and its components* (Unpubilshed master's thesis). Fujian Normal University, China.
[李小美. (2020). *目标效价与认知负荷对前瞻记忆及其成分的影响* (硕士学位论文). 福建师范大学，福州.]
Liu., C. (2004). Working memory and processing speed in children with arithmetical difficultie. *Journal of Nanjing Normal University (Social Science)*, (3), 81–89.
[刘昌. (2004). 数学学习困难儿童的认知加工机制研究. *南京师大学报：社会科学版*, (3), 81–89.]
Mahy, C., Moses, L. J., & Kliegel, M. (2014). The development of prospective memory in children: An executive framework. *Developmental Review, 34*(4), 305–326.
Mattli, F., Schnitzspahn, K. M., Studerus-Germann, A., Brehmer, Y., & Zöllig, J. (2014). Prospective memory across the lifespan: Investigating the contribution of retrospective and prospective processes. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, *21*(5), 515–543.
Mcdaniel, M. A., Howard, D. C., & Butler, K. M. (2008). Implementation intentions facilitate prospective memory under high attention demands. *Memory & Cognition, 36*(4), 716–724.
Meier, B., & Zimmermann, T. D. (2015). Loads and loads and loads: The influence of prospective load, retrospective load, and ongoing task load in prospective memory. *Frontiers in Human Neuroscience, 9*, Article322. https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00322
Peng, P., Wang, C., & Namkung, J. (2018). Understanding the cognition related to mathematics difficulties: A meta-analysis on the cognitive deficit profiles and the bottleneck theory. *Review of Educational Research*, *88*(3), 434–476.

Ren, S., & Cai, D. (2019). Effects of executive function training on mathematics skills for math learning difficulty students in a primary school. *Chinese Journal of Special Education,* (6), 63–71.

[任偲，蔡丹. (2019). 执行功能训练对数学学习困难小学生数学能力的促进作用. *中国特殊教育,* (6), 63–71.]

Rummel, J., Einstein, G. O., & Rampey, H. (2012). Implementation-intention encoding in a prospective memory task enhances spontaneous retrieval of intentions. *Memory*, *20*(8), 803–817.

Simons, J. S., Schölvinck, M. L., Gilbert, S. J., Frith, C. D., & Burgess, P. W. (2006). Differential components of prospective memory?: Evidence from fMRI. *Neuropsychologia*, *44*(8), 1388–1397.

Smith, R. E. (2003). The cost of remembering to remember in eventbased prospective memory: Investigating the capacity demands of delayed intention performance. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *29*(3), 347–361.

Smith, R. E., Hunt, R. R., McVay, J. C., & McConnell, M. D. (2007). The cost of event-based prospective memory: salient target events. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *33*(4), 734–746.

Swanson, H. L. (1994). Short-term memory and working memory: Do both contribute to our understanding of academic achievement in children and adults with learning disabilities? *Journal of Learning Disabilities*, *27*(1), 34–50.

Wang, G. W. (2010). *Developmental study on effects of implementation intention to prospective memory* (Unpubilshed master's thesis). Henan University, China.

[王光武. (2010). *执行意向对前瞻记忆影响的发展研究* (硕士学位论文). 河南大学, 开封.]

Wieber, F., Thürmer, J. L., & Gollwitzer, P. M. (2015). Promoting the translation of intentions into action by implementation intentions: Behavioral effects and physiological correlates. *Frontiers in Human Neuroscience*, *9*, Article395. https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00395

Zeng, S. C., & Wu, H. Q. (2004). Working memory in children with learning disabilities. *Advances in Psychological Science*, *12*(3), 355–362.

[曾守锤，吴华清. (2004). 学习不良儿童的工作记忆. *心理科学进展*, *12*(3), 355–362.]

Zhang, H. X., Chen, X. Y., Wang, D., Ma, J., & Zhou, R. L. (2016). Event-based prospective memory in learning disability: A multinomial modeling approach. *Chinese Journal of Clinical Psychology, 24*(5), 800–804.

[张红霞，陈小莹，王栋，马靓，周仁来. (2016). 学习困难儿童的事件性前瞻记忆:多项式加工树状模型的应用. *中国临床心理学杂志, 24*(5), 800–804.]

Zhang, X., & Wang, E. G. (2021). Research on cognitive processing mechanism of learning difficulty in recent 20 years. *Advances in Psychology*, *11*(6), 1448–1457.

[张欣，王恩国. (2021). 近 20 年学习困难的认知加工机制研究. *心理学进展*, *11*(6), 1448–1457.]

Zhang, Z. N. (2016). *The impact of ongoing task difficulty and types of cues on prospective memory between excellent students and students with learning difficulties* (Unpubilshed master's thesis), Zhengzhou University, China.

[张振宁. (2016). *任务难度和靶线索对学困生与学优生前瞻记忆的影响* (硕士学位论文). 郑州大学.]

Zimmermann, T. D., & Meier, B. (2006). The rise and decline of prospective memory performance across the lifespan. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 59*(12), 2040–2046.

Zimmermann, T. D., & Meier, B. (2010). The effect of implementation intentions on prospective memory performance across the lifespan. *Applied Cognitive Psychology, 24*(5), 645–658.

## Cognitive load and encoding methods affect prospective memory and its components in low achieving pupils in math

CHEN Youzhen[1], ZHANG Manman[1], LIN Qiurong[2]

([1] *School of Psychology, Fujian Normal University, Fuzhou* 350117, *China*)

([2] *Liancheng County Experimental Primary School, Longyan* 364000, *China*)

**Abstract**

Prospective memory is the memory for executing future intentional behavior at a proper time or occasion. Successful execution of prospective memory includes both a prospective and a retrospective component. The prospective component refers to remembering to do something when a prospective cue is encountered, and the retrospective component is the retrieval of the content of the intention to be executed. Both the prospective and retrospective components are indispensable for the successful execution of prospective memory tasks. Low achieving pupils in math with normal intelligence performed poorly on prospective memory tasks relative to high achieving math pupils. Because a failure of prospective memory may underlie academic failure in low achieving pupils in math, it is important to identify the causes of poor prospective memory performance. This study addresses the question of whether implementation intention encoding improves prospective memory performance in low achieving pupils in math and whether its effects are localized to the prospective and/or the retrospective component?

In this study, two experiments were conducted to explore the above questions. Experiment 1 used a

prospective memory task that disassociated the prospective component and retrospective component. Thirty-eight (38) pupils were recruited. The study adopted a mixed design of 2 (ability group: low math achieving pupils, high math achieving pupils) × 2 (cognitive load of ongoing tasks: high, low) with the latter as a within-subjects variable. Experiment 2 investigated whether encoding conditions improved low math achieving pupils' prospective memory. Sixty (60) low achieving pupils in math were recruited. The study adopted a mixed design of 2 (cognitive load of ongoing tasks: high, low) × 2 (encoding method: standard encoding, implementation intention encoding) with the latter as a between-subjects variable.

The results of Experiment 1 showed that accuracy rates of prospective and retrospective components of low achieving pupils in math were significantly lower than that of high achieving pupils in math. In addition, pupils with low math achievement yielded significantly lower accuracy rates on the high cognitive load condition than that in the low cognitive load condition. No significant interaction emerged between ability group and cognitive load. The results of Experiment 2 replicated the above findings that significantly lower accuracy rates occurred in the high cognitive load than the low cognitive load condition. The results also showed that the accuracy rates for the prospective and retrospective components were significantly higher for the implementation intention encoding condition than those in the standard encoding condition. Additionally, the interaction between cognitive load and the encoding method was not significant.

The results indicated that low achieving pupils in math performed worse on measures of prospective memory than high achieving pupils in math. The results also showed that regardless of cognitive load, implementation intention encoding improved the performance of low math achieving pupils' prospective memory performance by enhancing both the prospective and retrospective components.

**Keywords** prospective memory, prospective component, retrospective component, low achieving pupils in math, cognitive load, encoding method